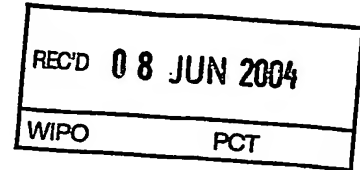


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 23 336.9

Anmeldetag:

23. Mai 2003

Anmelder/Inhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80686 München/DE;
Laser-Laboratorium Göttingen eV, 37077 Göttingen/DE;
Sennheiser electronic GmbH & Co KG,
30900 Wedemark/DE.

Bezeichnung:

Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer
reflektierenden Oberfläche

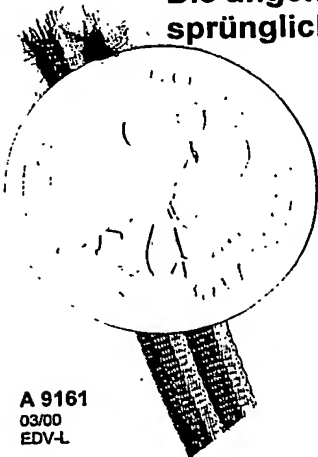
Priorität:

07. April 2003 DE 103 16 924.5

IPC:

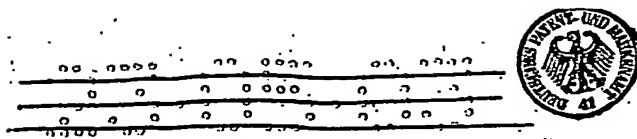
G 01 B, G 01 H, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.



München, den 4. Mai 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Klostermeyer



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur optischen Abstandsmessung einer reflektierenden Oberfläche, die insbesondere für die Bestimmung geringer Abstandsveränderungen, wie sie häufig bei schwingenden Systemen vorkommen, eingesetzt werden kann. Eine solche Anordnung kann auch als optisches Mikrofon oder Hydrophon eingesetzt werden. Die erfindungsgemäße Anordnung ist dabei so aufgebaut, dass Licht einer Lichtquelle über eine erste Lichtleitfaser auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet und von dort reflektiertes Licht über die erste Lichtleitfaser oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser auf mindestens einen statisch angeordneten optischen Detektor gerichtet ist. Zwischen der reflektierenden Oberfläche und der einen oder mehreren Lichtleitfasern ist ein in Richtung auf die reflektierende Oberfläche kollimierendes optisches Element angeordnet. Des Weiteren sind mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende Oberfläche fokussierende optische Elemente, deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind und in konstanten Abständen zueinander angeordnet sind, oberhalb der reflektierenden Oberfläche angeordnet.

038P 0846

1

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V., Laser-Laboratorium
Göttingen e.V., Sennheiser electronic GmbH & Co KG
038P 0846

Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer
reflektierenden Oberfläche

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur optischen
Abstandsbestimmung einer reflektierenden Oberfläche,
die insbesondere für die Bestimmung geringer Ab-
standsveränderungen, wie sie häufig bei schwingenden
Systemen vorkommen, vorteilhaft einsetzbar ist. Sie
kann als optisches Mikrofon oder Hydrophon eingesetzt
werden.

Hierzu sind verschiedene Messprinzipien bekannt, bei
denen sich der Einkoppelgrad zwischen zwei Lichtleit-
fasern, die Phasenmodulation oder die Polarisierung
von Licht in veränderter Form auswerten lässt, be-
kannt.

Aus US 3,940,608 sowie US 5,073,027 sind Lösungen be-
kannt, bei denen Licht einer Lichtquelle über mindes-

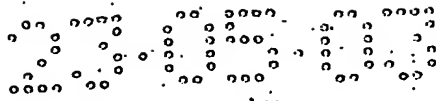
tens eine Lichtleitfaser auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet wird und von dieser reflektierenden Oberfläche rückreflektiertes Licht über ebenfalls die eine oder eine weitere Lichtleitfaser auf einen optischen Detektor gerichtet und die jeweilige Intensität des detektierten Lichtes, als Maß für den jeweiligen Abstand der reflektierenden Oberfläche genutzt wird.

Bei diesen bekannten Lösungen wird aber das jeweils auf die reflektierende Oberfläche gerichtete Licht mittels optischer Elemente in diese Richtung fokussiert, so dass in Abhängigkeit des jeweiligen Abstandes der reflektierenden Oberfläche ein mehr oder weniger großer Lichtfleck zu verzeichnen ist und dieser im günstigsten Fall vollständig auf dem optischen Detektor abgebildet werden kann.

Bei sich verändernden Abständen der jeweiligen reflektierenden Oberfläche verändert sich entsprechend die Größe der Abbildung, wodurch im Zusammenspiel der Vignettierung an der Apertur der Lichtleitfaser für das rückreflektierte Licht eine entsprechende Änderung der mit dem optischen Detektor erfassbaren Lichtintensität ergibt, die als Messsignalwert proportional zum jeweiligen Abstand oder einer aufgetretenen Abstandsänderung ausgewertet werden kann.

So ist insbesondere in US 5,073,027 eine Lösung beschrieben, bei der lediglich eine Lichtleitfaser für die Bestrahlung der jeweiligen reflektierenden Oberfläche und die Führung von von dort reflektiertem Licht zu einem optischen Detektor eingesetzt wird.

Dabei soll mit der dort beschriebenen Lehre eine Möglichkeit geschaffen werden, in dem durch Variation



M

von Abständen zwischen der Stirnfläche der Lichtleit-
faser, aus der Licht aus- und reflektiertes Licht
eingekoppelt wird und fokussierenden optischen Ele-
menten eine Anpassung auf unterschiedliche Abstands-
messbereiche mit jeweils erhöhter Messempfindlichkeit
erreicht werden soll.

Bei der in US 3,940,608 beschriebenen Lösung werden
mehrere Lichtleitfasern für die Bestrahlung der re-
flektierenden Fläche und auch für auf einen oder meh-
rere Detektor(en) zu richtende reflektierte Strahlung
eingesetzt, wobei sowohl für die Bestrahlung, wie
auch für das reflektierte Licht gleiche optische Ele-
mente zwischengeschaltet sind.

Durch Auswahl des jeweiligen Abbildungsmaßstabes be-
steht so die Möglichkeit Einfluss auf die Steilheit
der durch auftretende Abstandsänderungen erfassbaren
Lichtintensitäten mit optischen Detektoren in be-
stimmten Grenzen vornehmen zu können.

Dabei gilt, dass die Steilheit bei sich entsprechend
verändernden Lichtintensitäten umso größer wird, je
kleiner der jeweilige Abbildungsmaßstab gewählt wor-
den ist.

Dabei ist aber die Divergenz der Lichtstrahlung, die
auf die reflektierende Oberfläche gerichtet ist, ein
wesentliches Maß, mit dem die erreichbare Steilheit,
der sich verändernden Lichtintensität begrenzt wird.

Da sich die Strahldivergenz im Objekt- bzw. Bildraum
und die Objekt- bzw. Bildgröße bei abbildenden Opti-
ken gegenläufig ändern, kann aber der Abbildungsmaß-
stab von entsprechenden Optiken nicht beliebig redu-
ziert werden, da die Lichtstrahldivergenz im Bildraum

12

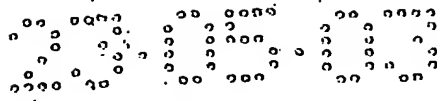
dann zu hohe Werte annehmen würde.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung eine optische Anordnung zur Verfügung zu stellen, mit der Abstände zu reflektierenden Oberflächen mit erhöhter Messempfindlichkeit bestimmt und/oder bereits kleine Abstandsveränderungen mit hoher Empfindlichkeit detektiert werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Anordnung, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung von reflektierenden Oberflächen verwendet ebenfalls zumindest eine Lichtleitfaser, über die Licht einer Lichtquelle auf eine reflektierende Oberfläche gerichtet und dementsprechend von dieser Oberfläche reflektiertes Licht über diese oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser auf mindestens einen optischen Detektor abgebildet werden kann. Mit dem optischen Detektor wird analog zu den Lösungen aus dem Stand der Technik, die sich in Abhängigkeit von ändernden Abständen verändernde messbare Lichtintensität, als Maß für den jeweiligen Abstand benutzt.

Erfindungsgemäß wird das divergente Licht, das aus der ersten Lichtleitfaser austritt mittels eines kollimierenden optischen Elementes als parallele Lichtstrahlen in Richtung auf die jeweilige reflektierende Oberfläche gerichtet, wobei zwischen kollimierendem optischen Element und der reflektierenden Oberfläche mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende



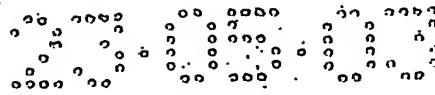
Oberfläche fokussierende optische Elemente, deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind, angeordnet sind. Diese mindestens zwei fokussierenden optischen Elemente weisen dabei einen konstanten Abstand zueinander auf, so dass die Abstände ihrer optischen Achsen auch bei einer höheren Anzahl von fokussierenden optischen Elementen ebenfalls konstant gehalten sind.

So ist es beispielsweise vorteilhaft, wenn mehrere solcher fokussierenden optischen Elemente vorhanden sind, die zumindest entlang einer Achse eine Reihenanordnung bilden bzw. zur Erhöhung der Messempfindlichkeit mehrere Reihen solcher fokussierenden Elemente eine Arrayanordnung bilden. Dabei sollten die optischen Achsen und dementsprechend auch alle fokussierenden optischen Elemente äquidistant zueinander angeordnet sein.

Bevorzugt ist es außerdem, diese fokussierenden optischen Elemente bezüglich ihrer optischen Eigenschaften, was insbesondere auf ihre Brennweite zutrifft, gleich zu gestalten.

Die fokussierenden optischen Elemente sollten unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Brennweite in einem optimierten Abstand zur jeweiligen reflektierenden Oberfläche angeordnet sein, so dass sich bereits geringe Abstandsänderungen in sich signifikant verändernden gemessenen Lichtintensitäten am optischen Detektor widerspiegeln können.

So kann ein mittlerer Abstand zwischen fokussierenden optischen Elementen und reflektierender Oberfläche so gewählt sein, dass dieser mit der jeweiligen Brenn-



punktebene der fokussierenden optischen Elemente übereinstimmt.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung sollte aber auch der Abstand zwischen der Ebene, in der die fokussierenden optischen Elemente angeordnet sind und dem kollimierenden optischen Element konstant gehalten sein.

Vorteilhaft wirkt es sich aus, wenn die jeweiligen konvexen Oberflächen der fokussierenden optischen Elemente, die bevorzugt als Zylinderlinsen ausgebildet sein können, asphärisch gekrümmt sind. Eine solche asphärische Krümmung der konvexen Oberfläche des kollimierenden optischen Elementes ist ebenfalls vorteilhaft. Das kollimierende optische Element kann als plankonvexe Linse ausgebildet sein, wobei die konvex gekrümmte Oberfläche in Richtung auf die reflektierende Oberfläche, deren Abstand zu bestimmen ist, weist.

Es besteht die Möglichkeit Licht mittels einer einzigen Lichtleitfaser auf die reflektierende Oberfläche zu richten und von dort reflektiertes Licht über diese eine Lichtleitfaser auf mindestens einen optischen Detektor zu richten. Hierfür ist ein geeigneter Kopppler zur Lichtquelle und zum Detektor einzusetzen.

Ist die reflektierende Oberfläche in einem Soll- bzw. Bezugsabstand angeordnet, bei der sie in der Brennpunktebene der reflektierenden optischen Elemente angeordnet ist, erfolgt eine vollständige Abbildung des aus der Lichtleitfaser auf die reflektierende Fläche gerichteten und von dort reflektierten Lichtes in diese Lichtleitfaser und es kann eine maximale Intensität detektiert werden. Vergrößert oder verringert

sich der Abstand der reflektierenden Oberfläche erfolgt keine vollständige Abbildung und die über die Lichtleitfaser den optischen Detektor erreichende Intensität ist entsprechend reduziert, so dass die erfassbare Lichtintensitätsreduzierung ein Maß für den veränderten Abstand ist.

Wird in der Nähe der bezeichneten einen Lichtleitfaser mindestens eine weitere Lichtleitfaser angeordnet, die von der reflektierenden Oberfläche Licht auf einen weiteren optischen Detektor richten kann, erhöht sich die mit diesem optischen Detektor erfassbare Lichtintensität bei sich veränderndem Abstand, sobald die reflektierende Oberfläche außerhalb der Brennpunktebene der reflektierenden optischen Elemente angeordnet, also bewegt worden ist. Gleichzeitig reduziert sich die Lichtintensität, die mit der anderen Lichtleitfaser über den optischen Kopp-
ler/Faserverzweiger auf den entsprechenden optischen Detektor gerichtet wird.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können auch mindestens zwei Lichtleitfasern eingesetzt werden, die außerhalb (neben) der optischen Achse zumindest des kollimierenden optischen Elementes angeordnet sind. Hierbei kann auf einen optischen Kopp-
ler/Faserverzweiger an Lichtleitfasern verzichtet werden. Dabei wird durch eine Lichtleitfaser lediglich Licht auf die reflektierende Oberfläche gerichtet und von dort reflektiertes Licht über die erwähnten optischen Elemente in die eine oder weitere zusätzliche Lichtleitfaser(n) eingekoppelt und mittels optischer Detektoren die jeweilige sich abstandsabhängig verändernde Lichtintensität erfasst.

Insbesondere in diesem Fall sollten Zylinderlinsen

als reflektierende optische Elemente eingesetzt werden.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können die Stirnflächen von Lichtleitfasern orthogonal zur optischen Achse des jeweiligen kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sein, was sowohl für die mindestens eine Lichtleitfaser für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche, wie auch für von dieser Oberfläche reflektiertes Licht zutreffen kann.

Neben der Möglichkeit, dass Lichtleitfasern zumindest in einem Bereich, indem Licht aus diesen aus- und eingekoppelt wird, parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ausgerichtet sind, besteht die Möglichkeit diese Lichtleitfasern in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes in einem schräg geneigten Winkel auszurichten, wobei die Neigungswinkel im Bereich zwischen 2° und 8° liegen können. So kann beispielsweise eine Anpassung insbesondere mindestens einer Lichtleitfaser für reflektiertes Licht an die Strahlformung, die mittels der fokussierenden optischen Elemente erreichbar ist, vorgenommen werden, so dass eine orthogonale Ausrichtung der Stirnfläche zur Einkopplung von reflektiertem Licht zur Krümmungsebene der fokussierenden Elemente erreichbar ist.

Es besteht aber auch eine versetzte Anordnungsmöglichkeit der eingesetzten Lichtleitfasern für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche und/oder für von dort reflektiertes Licht in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes.

In einer Weiterbildungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist auf einer Lichtleitfaser für die Bestrahlung

lung der reflektierenden Oberfläche an der Stirnfläche, an der dieses Licht ausgekoppelt wird, ein Transmissionsgitter ausgebildet.

In dieser Form besteht die Möglichkeit eine Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche in Bezug zur jeweiligen Anordnung von fokussierenden Elementen lokal gezielt zu beeinflussen.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung können als Lichtquellen an sich bekannte LED's, andere inkohärente Lichtquellen oder Laserdioden eingesetzt werden, wobei in der Regel auf eine Polarisierung oder eine optische Filterung verzichtet werden kann.

Wie bereits eingangs angedeutet, kann die erfindungsgemäße Anordnung an schwingenden Systemen günstig eingesetzt werden. So besteht die Möglichkeit die reflektierende Oberfläche als Teil einer Membran auszubilden oder auf einer solchen Membran fixiert anzuordnen, so dass schwingungsbedingt auftretende Abstandsänderungen beim Schwingen einer solchen Membran detektiert werden können.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung wird also, im Gegensatz zu den bekannten Lösungen des Standes der Technik, die Abbildungsoptik aus einem kollimierenden optischen Element und einer Mehrzahl fokussierender optischer Elemente, wobei letztere in Form einer Arrayanordnung eingesetzt werden sollten, gebildet.

Dadurch ergeben sich weitere Möglichkeiten zur Erhöhung der Messempfindlichkeit. So kann dies durch eine Vergrößerung der numerischen Aperturen der einzelnen eingesetzten fokussierenden Elemente und auch durch entsprechende Reduzierung der Brennweite dieser fo-

kussierenden Elemente beeinflusst werden. Beide bezeichneten Parameter können aber unabhängig voneinander einen entsprechenden positiven Einfluss erwirken. Insbesondere durch die Aufteilung der Lichtstrahlung, mit der die reflektierende Oberfläche beaufschlagt wird, durch die Mehrzahl fokussierender optischer Elemente, kann bei kleinen Abständen der optischen Achsen dieser fokussierenden optischen Elemente (kleine Array pitches) die Brennweite der fokussierenden optischen Elemente sehr deutlich reduziert werden, ohne dass sich die Divergenz im Bildraum vergrößert; was insbesondere auf den rückreflektierten Lichtanteil zutrifft.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

Figur 1 in schematischer Form ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit zwei Lichtleitfasern;

Figur 2 eine Anordnung von zwei Lichtleitfasern an einem Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung;

Figur 3 ein Diagramm von in Abhängigkeit eines sich verändernden Abstandes einer reflektierenden Oberfläche verändernder Koppelleffizienz;

Figur 4 ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung mit zwei symmetrisch um eine optische Achse dezentrierten Lichtleitfasern;

Figur 5 ein weiteres Beispiel mit einem zusätzlichen strahlformenden optischen Element und

Figur 6 eine räumliche Darstellung des bei Beispiel nach Figur 5 zusätzlich eingesetzten strahlformenden optischen Elementes.

In Figur 1 ist in schematischer Form ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung gezeigt.

Dabei wird Licht einer nicht dargestellten Lichtquelle über eine Lichtleitfaser 1 ausgekoppelt und in divergenter Form auf ein kollimierendes optisches Element 2 gerichtet. Die parallele Lichtstrahlung trifft dann auf eine Arrayanordnung 3, die aus äquidistant zueinander angeordneten fokussierenden optischen Elementen 3' gebildet ist. Dabei wird die Lichtstrahlung von jedem der fokussierenden optischen Elemente 3' in Richtung auf eine reflektierende Oberfläche 4, die Bestandteil einer weiter nicht dargestellten Membran oder auf einer solchen Membran fixiert angeordnet ist, gerichtet.

Dabei sind die fokussierenden optischen Elemente 3' so ausgebildet und in einem Abstand zur reflektierenden Oberfläche 4 angeordnet, die zumindest in der Nähe ihrer Brennweite f liegt.

Infolge von jeweiligen Reflexionen werden die einzelnen Abbildungen in die Stirnfläche der Lichtleitfaser 5 eingekoppelt und auf einem mit dieser Lichtleitfaser 5 verbundenen optischen Detektor (nicht dargestellt) gerichtet, wenn die reflektierende Oberfläche 4 außerhalb der Brennpunktebene der optischen Elemente 3' angeordnet ist. Ist die reflektierende Oberflä-

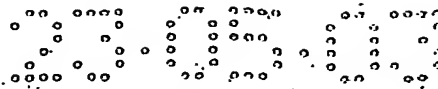
che 4 in der Brennpunktebene der optischen Elemente 3' angeordnet, erfolgt eine Reflexion des gesamten Lichtes von der reflektierenden Oberfläche 4 zurück in die Lichtleitfaser 1.

Mit diesem optischen Detektor wird die Lichtintensität des reflektierten und in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelten Lichtes erfasst und kann für eine Bestimmung des jeweiligen Abstandes der reflektierenden Fläche 4 oder gegebenenfalls auftretenden Abstandsänderungen genutzt werden.

Einflussgrößen sind dabei die Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes 2, der Abstand D zwischen kollimierendem optischen Element 2 und der Arrayanordnung 3 von fokussierenden optischen Elementen 3', deren Brennweite f , die kleiner als die Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes 2 ist.

Für den Fall, dass der Abstand zwischen der Arrayanordnung 3 und der reflektierenden Oberfläche 4 der Brennweite f der fokussierenden optischen Elemente 3' und Abstand der Lichtleitfaser 1 zum kollimierenden optischen Element 2, der Brennweite F des optischen Elements 2 entspricht, kann der Kern der Lichtleitfaser 1 im Maßstab 1:1 aufrecht auf sich selbst abgebildet werden.

Ändert sich jedoch der Abstand der reflektierenden Oberfläche 4, so erfolgt die Abbildung je nach der sich jeweils ergebenden Änderung des Abstands mehr oder weniger defokussiert, so dass nur ein Teil des Lichtes wieder in die Lichtleitfaser 1 zurück und ein anderer Teil des Lichtes in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt und mit dem optischen Detektor detektiert werden kann.



Für einen besonderen Fall, nämlich, wenn der Abstand $D = F + f$ gilt, wird der Streukreisradius R einer solchen Anordnung für ein punktförmiges Objekt in paraxialer Näherung folgendermaßen beschrieben:

$$R = 2 \cdot \frac{F}{f} \cdot NA \cdot \delta$$

Dabei sind NA die numerische Apertur der fokussierenden optischen Elemente 3' der Arrayanordnung 3 und δ die Auslenkung der reflektierenden Fläche aus der Nominalentfernung von der Arrayanordnung 3.

Die Messempfindlichkeit kann dabei durch eine Vergrößerung der numerischen Aperturen und/oder Reduzierung der Brennweite der fokussierenden optischen Elemente 3' sowie auch durch die Vergrößerung der Brennweite F des kollimierenden optischen Elementes erreicht werden.

Im Gegensatz zur Darstellung von Figur 1 besteht aber auch die Möglichkeit lediglich eine Lichtleitfaser 1 einzusetzen, aus der Licht einer Lichtquelle ausgekoppelt und über die aus kollimierendem optischen Element 2 und Arrayanordnung 3 gebildete Abbildungsoptik auf die reflektierende Oberfläche 4 zu richten und von dort rückreflektiertes Licht in diese Lichtleitfaser einzukoppeln. Dabei ist eine solche Lichtleitfaser an einen Faserverzweiger/Lichtkoppler angeschlossen, so dass rückreflektiertes Licht auf den optischen Detektor auftreffen kann.

In Figur 2 ist ein Beispiel ebenfalls in schematischer Form gezeigt, bei dem eine Lichtleitfaser 1, als Stufenindex-Multimodefaser mit einem Kerndurchmesser von 0,1 mm und einer numerischen Apertur von

0,25 eingesetzt worden ist.

Die aus dieser Lichtleitfaser 1 ausgekoppelte Lichtstrahlung erreicht divergent, die das eine kollimierende optische Element 2 bildende plankonvexe Linse, deren konvexe Oberfläche asphärisch gekrümmt ist. Die plankonvexe Linse ist eine kommerziell erhältliche asphärische Linse mit der Bezeichnung GELTECH 350240.

Die Arrayanordnung 3 wird aus Zylinderlinsen, als fokussierende optische Elemente 3' mit einem Abstand von 0,15 mm ihrer optischen Achsen jeweils zueinander und mit einer Brennweite von 0,2 mm ausgebildet. Die einzelnen Zylinderlinsen weisen eine numerische Apertur von 0,35 auf. Dabei sind die konvex gekrümmten Flächen der Zylinderlinsen, als fokussierende optische Elemente 3' bei diesem Beispiel in Richtung auf die reflektierende Oberfläche 4 ausgerichtet. Ihre Krümmung ist ebenfalls asphärisch mit einer konischen Konstante von -2,3 ausgebildet.

Von der reflektierenden Oberfläche 4 reflektiertes Licht passiert diese Abbildungsoptik in umgekehrter Richtung. So kann reflektiertes Licht in die dezentrische Lichtleitfaser 5, die in einem Abstand von 0,2 mm zur Lichtleitfaser 1 angeordnet ist, und einen Kerndurchmesser von 0,2 mm mit einer numerischen Apertur von 0,37 aufweist, eingekoppelt werden.

Ändert sich der Abstand der reflektierenden Oberfläche 4, so wird in Abhängigkeit der jeweilig auftretenden Abstandsänderung mehr oder weniger Licht in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt.

Eine durch Strahlverfolgung bestimmte Abhängigkeit der in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelten Lichtin-

tensität von der jeweiligen Auslenkung/dem jeweiligen Abstand der reflektierenden Oberfläche 4 aus einem Sollabstand von 0,2 mm ist in Form eines Diagramms in Figur 3 dargestellt.

In diesem Diagramm ist erkennbar, dass in einem linearen Arbeitsbereich, ausgehend von ca. 5 bis 10 μm , eine erheblich erhöhte Steilheit der sich verändernden Lichtintensität infolge der erreichbaren Koppel-effizienz durch die erfindungsgemäß eingesetzte Ab-bildungsoptik zu verzeichnen ist, was sich in einer erhöhten Messempfindlichkeit widerspiegelt.

Mit Figur 4 soll eine mögliche Ausführung in Form, bei der zwei Lichtleitfasern 1 und 5 um die optische Achse des kollimierenden optischen Elementes 2 de-zentriert sind, gezeigt werden. Dadurch kann erreicht werden, dass falls sich die reflektierende Oberfläche 4 in einem vorgebbaren Sollabstand befindet, entweder eine Verkipfung der reflektierenden Oberfläche 4 oder durch eine Dezentrierung der Lichtleitfaser 5, aus der Licht für die Bestrahlung der reflektierenden Oberfläche 4 ausgekoppelt wird, in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes ein erhöhter Anteil an von der reflektierenden Oberfläche 4 reflektiertem Licht in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelt werden kann. So bewirkt auch eine Abstandsänderung der reflektierenden Oberfläche eine Reduzierung der in die Lichtleitfaser 5 eingekoppelten und mit dem optischen Detektor detektierbaren Intensität.

Bei dem in Figur 5 gezeigten Beispiel einer erfindungsgemäßen Anordnung sind zwischen fokussierenden optischen Elementen 3', die hier Bestandteil einer Array-Anordnung 3 sind, Durchbrechungen 7 bzw. 7' ausgebildet. In nicht dargestellter Form können die

fokussierenden optischen Elemente 3' auch mit Abständen zueinander angeordnet sein, so dass zwischen ihnen Freiräume verbleiben.

Mit einer solchen Ausbildung einer erfindungsgemäßen Anordnung kann eine deutliche Verbesserung des Frequenzganges erreicht werden, da so ein Druckausgleich bei Abstandsänderungen der reflektierenden Oberfläche 4 erreichbar ist. Insbesondere da die Abstände zwischen reflektierender Oberfläche 4 und den fokussierenden optischen Elementen 3', insbesondere bei einer Array-Anordnung 3 gering sind, kann sich das dazwischen vorhandene Luftpolster dämpfend auswirken. Mittels der Durchbrechungen 7, 7' oder entsprechenden Freiräumen kann dieser Nachteil behoben werden.

Bei dem in Figur 5 gezeigten Beispiel ist zusätzlich ein strahlformendes optisches Element 6 zwischen dem kollimierenden optischen Element 2 und den fokussierenden optischen Elementen 3', also hier der Array-Anordnung 3 vorhanden.

Mit diesem strahlformenden optischen Element 6 können Lichtverluste kompensiert werden, da so lediglich Bereiche der Array-Anordnung 3, auf denen fokussierende optische Elemente 3' angeordnet sind, beleuchtet werden und eine gezielte Lichtstrahlführung auf diese Bereiche erfolgt und dementsprechend Bereiche mit Durchbrechungen 7, 7' nicht beleuchtet werden.

Neben dem im Beispiel nach den Figuren 5 und 6 gezeigten strahlformenden Element 6 können auch ein oder auch mehrere diffraktive oder refraktive optische Elemente eingesetzt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit (nicht dargestellt) strahlformende Elemente in das kollimierende optische Element 2 zu in-

tegrieren, so dass auf das zusätzliche Element 6 verzichtet werden könnte.

Beim gezeigten Beispiel wird eine Teleskop-Array-Anordnung eingesetzt:

Mit der räumlichen perspektivischen Darstellung von Figur 6 wird deutlich, dass das strahlformende optische Element 6 an zwei sich diametral gegenüberliegenden Oberflächen quadratische konvex und auf der gegenüberliegenden Seite konkav gewölbte Oberflächenbereiche 6a und 6b komplementär ausgebildet sind, die jeweils durch Menisken voneinander getrennt sind.

So ist die Seite des strahlformenden optischen Elementes 6 mit den konvex gewölbten Oberflächen 6a in Richtung auf das kollimierende optische Element 2weisend und mit den konkav gewölbten Oberflächenbereichen 6b in Richtung auf die fokussierenden optischen Elemente 3'weisend angeordnet.

Dabei können die gewölbten Oberflächenbereiche so angeordnet und dimensioniert werden, dass lediglich fokussierende optische Elemente 3' bestrahlt und Bereiche, in denen Durchbrechungen 7, 7' angeordnet sind, nicht bestrahlt werden.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V., et al.

02F38094-IOF(2) - 038P 0846

Patentansprüche

5

1. Anordnung zur optischen Abstandsbestimmung einer reflektierenden Oberfläche, auf die Licht einer Lichtquelle über eine erste Lichtleitfaser gerichtet und von der reflektierenden Oberfläche reflektiertes Licht über die erste Lichtleitfaser oder mindestens eine weitere Lichtleitfaser auf mindestens einen statisch angeordneten optischen Detektor gerichtet ist,

10

15

dadurch gekennzeichnet, dass das Licht auf und von der reflektierenden Oberfläche (4) über mindestens ein in Richtung auf die reflektierende Oberfläche (4) kollimierendes optisches Element (2) und mindestens zwei in Richtung auf die reflektierende Oberfläche (4) fokussierende optische Elemente (3'), deren optische Achsen parallel zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet sind, in konstanten Abständen zueinander angeordnet sind, gerichtet ist.

20

25

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere fokussierende optische Elemente (3') entlang einer Achse eine Reihen- oder in mehreren Reihen eine Arrayanordnung bilden.

30

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3') äquidistant zueinander angeordnet sind.

5

15

20

25

30

4. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3') in konstantem Abstand zum kollimierenden optischen Element (2) angeordnet sind.
5. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fokussierenden optischen Elemente (3'), als Zylinderlinsen ausgebildet sind.
6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Oberflächen der fokussierenden optischen Elemente (3') asphärisch gekrümmt sind.
7. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kollimierende optische Element (2) eine plankonvexe optische Linse ist.
8. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexe Oberfläche des kollimierenden optischen Elementes (2) asphärisch gekrümmt ist.
9. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnfläche der mindestens einen weiteren Lichtleitfaser (5) in die reflektiertes Licht einkoppelbar ist, unmittelbar neben der Stirnfläche der ersten Lichtleitfaser (1), aus der Licht der Lichtquelle austritt, angeordnet ist.
10. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Anordnung, bei der Licht aus einer Stirnfläche einer ersten Lichtleitfaser (1) auf die reflektie-

rende Oberfläche (4) gerichtet und von dort reflektiertes Licht in die Stirnfläche dieser Lichtleitfaser (1) einkoppelbar ist, ein Faser-
verzweiger/Rückkoppler für Licht der Lichtquelle und für reflektiertes Licht zum optischen Detektor vorhanden ist.

11. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stirnfläche(n) der ersten Lichtleitfaser und/oder der mindestens einen weiteren Lichtleitfaser (5) orthogonal zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet ist/sind.

12. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtleitfaser (1) und/oder die mindestens eine weitere Lichtleitfaser (5) jeweils in einem schräg geneigten Winkel in Bezug zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) ausgerichtet ist/sind.

13. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtleitfaser (1) und/oder die mindestens eine weitere Lichtleitfaser (5) versetzt zur optischen Achse des kollimierenden optischen Elementes (2) angeordnet ist/sind.

14. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Stirnfläche der ersten Lichtleitfaser (1) ein Transmissionsgitter ausgebildet ist.

15. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle eine LED oder eine Laserdiode ist.

16. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Oberfläche (4) ein Teil einer Membran oder auf einer Membran angeordnet ist.
5. 17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen fokussierenden optischen Elementen (3') Freiräume vorhanden oder Durchbrechungen (7, 7') ausgebildet sind.
18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen kollimierendem optischen Element (2) und fokussierenden optischen Elementen (3') mindestens ein weiteres strahlformendes optisches Element (6) angeordnet ist oder strahlformende Elemente in das kollimierende optische Element (2) integriert sind.
15. 19. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das strahlformende optische Element (6) eine Teleskop-Array-Anordnung ist.
20. 20. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das/die strahlformende optische Element(e) (6) diffraktive oder refraktive optische Elemente ist/sind.
25. 21. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung ein optisches Mikrofon bildet.

3000

30

116

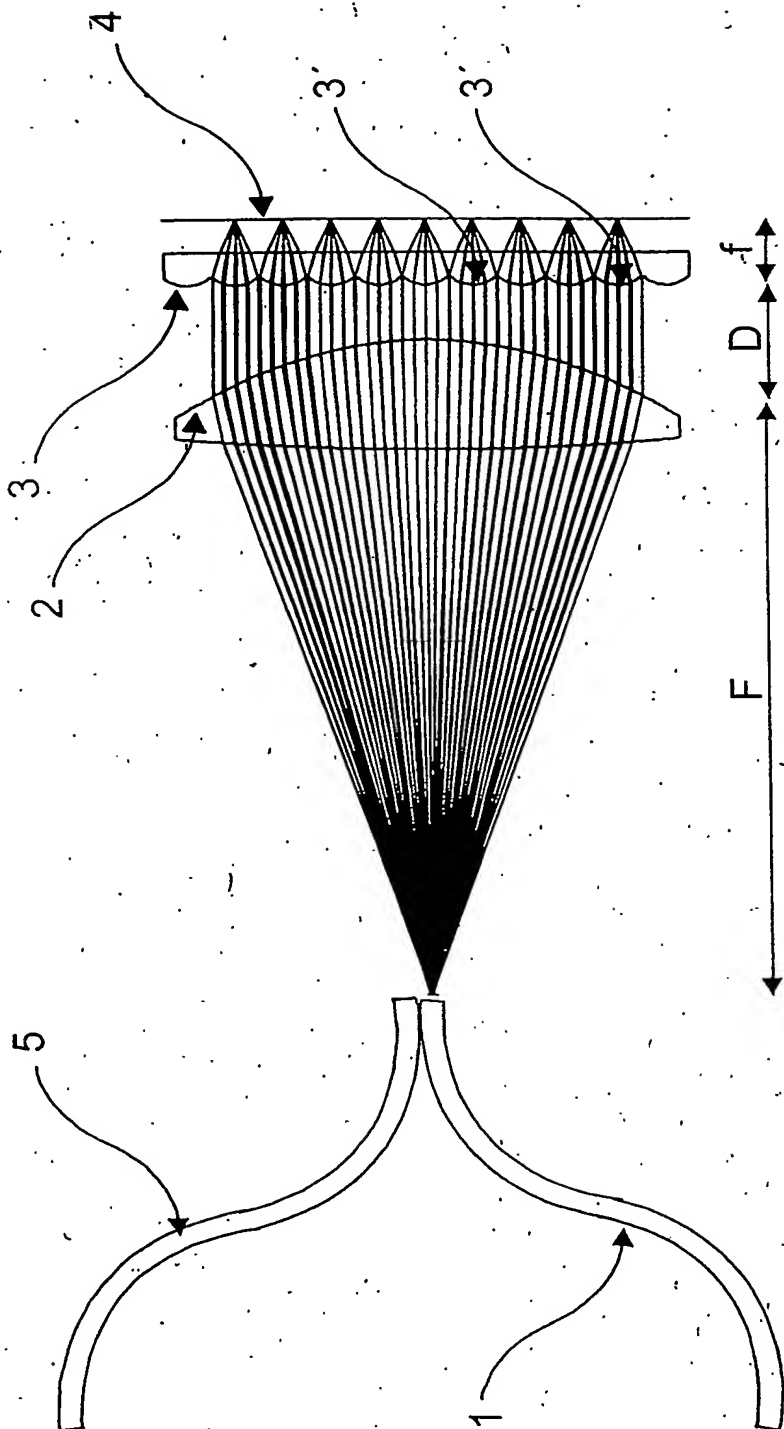


Fig. 1

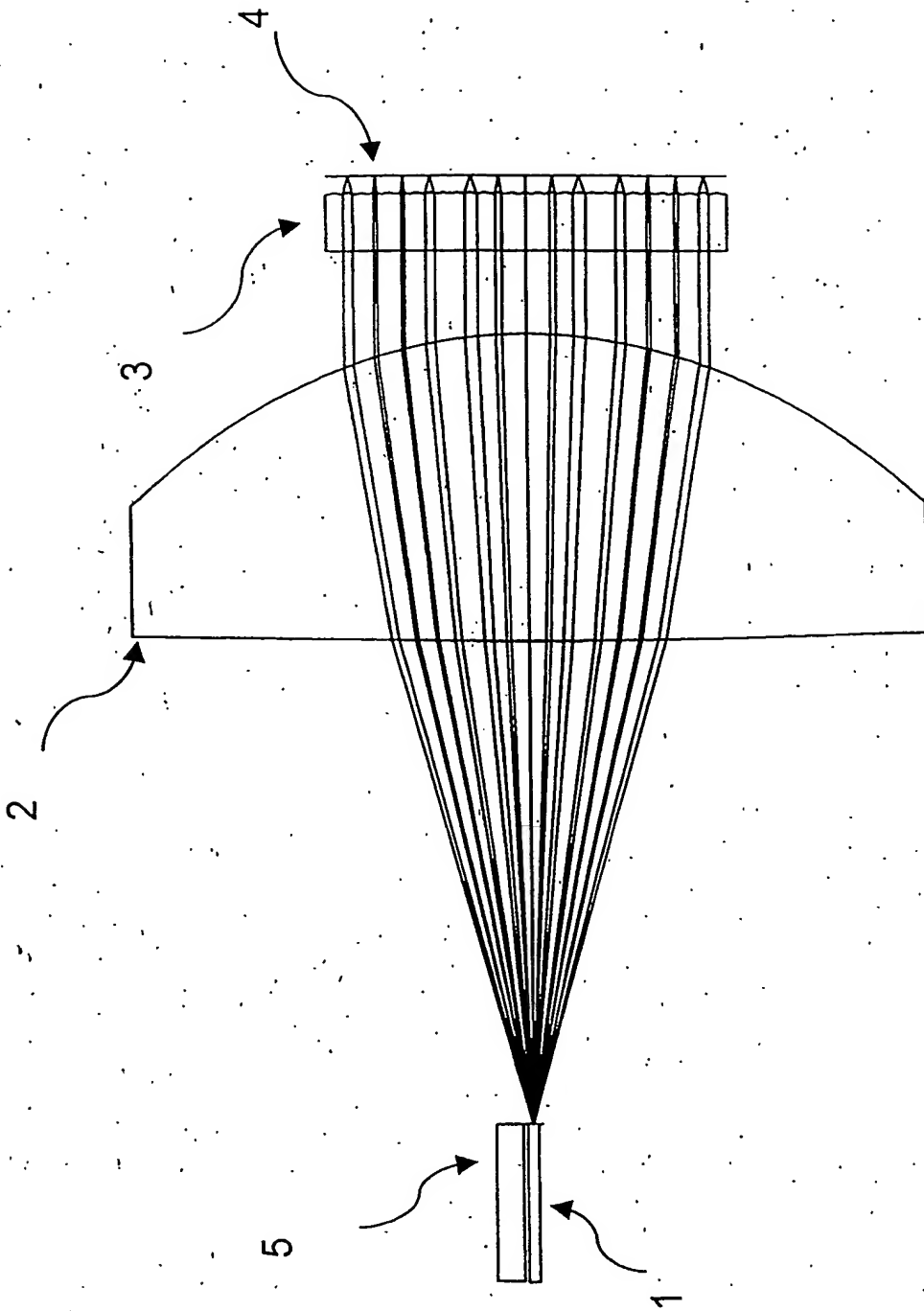


Fig. 2

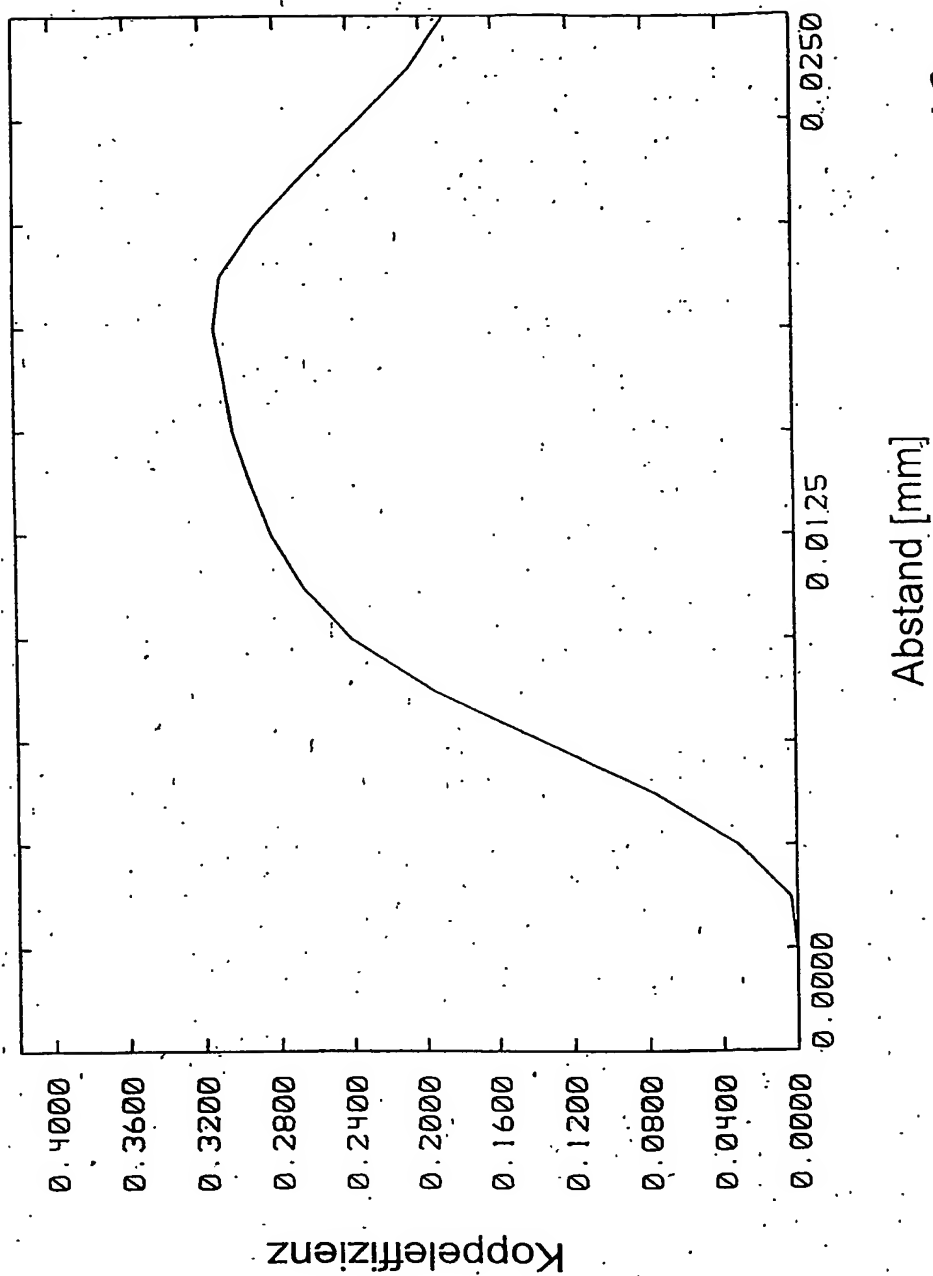


Fig. 3

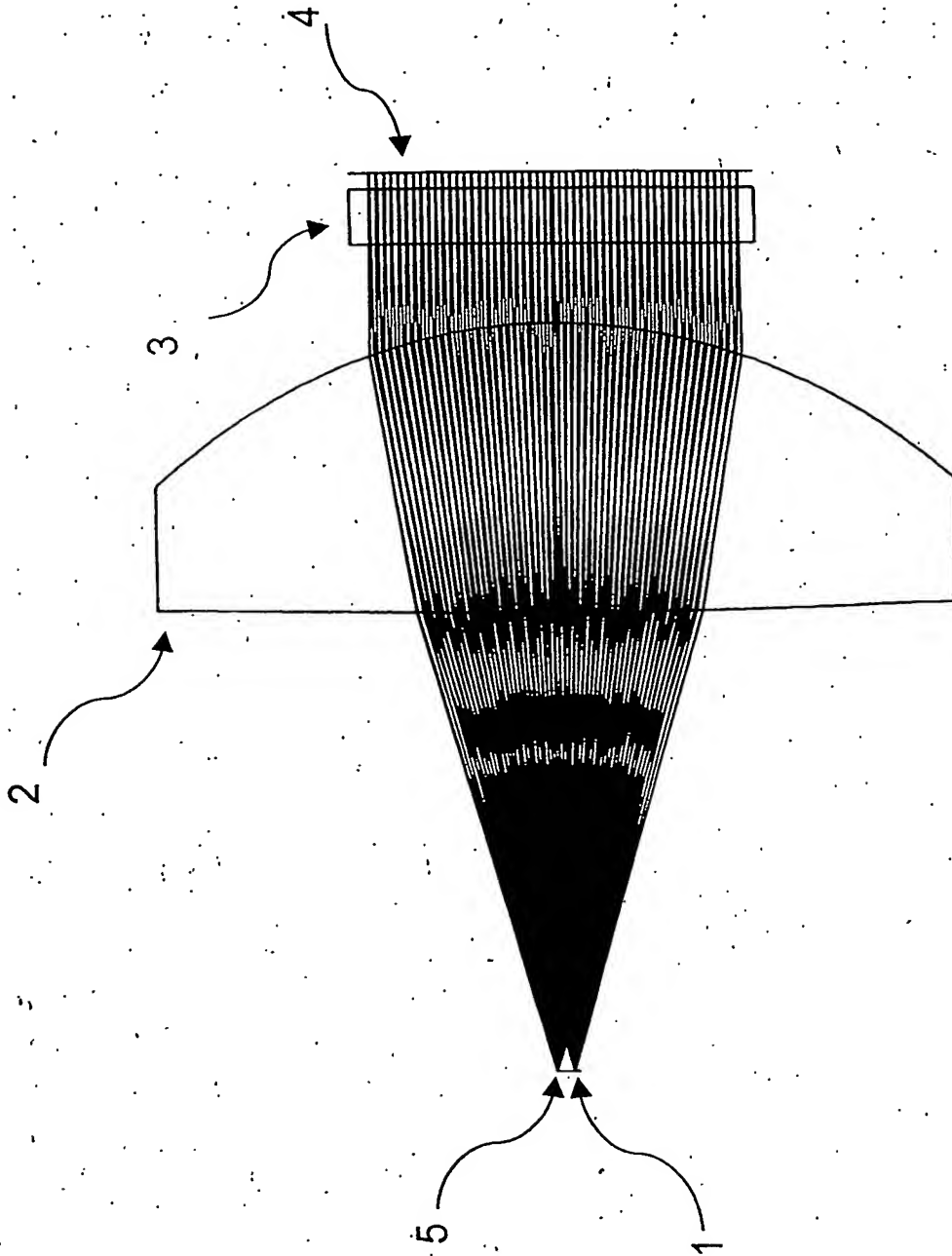
316

5

330000

33

46



5/6

3

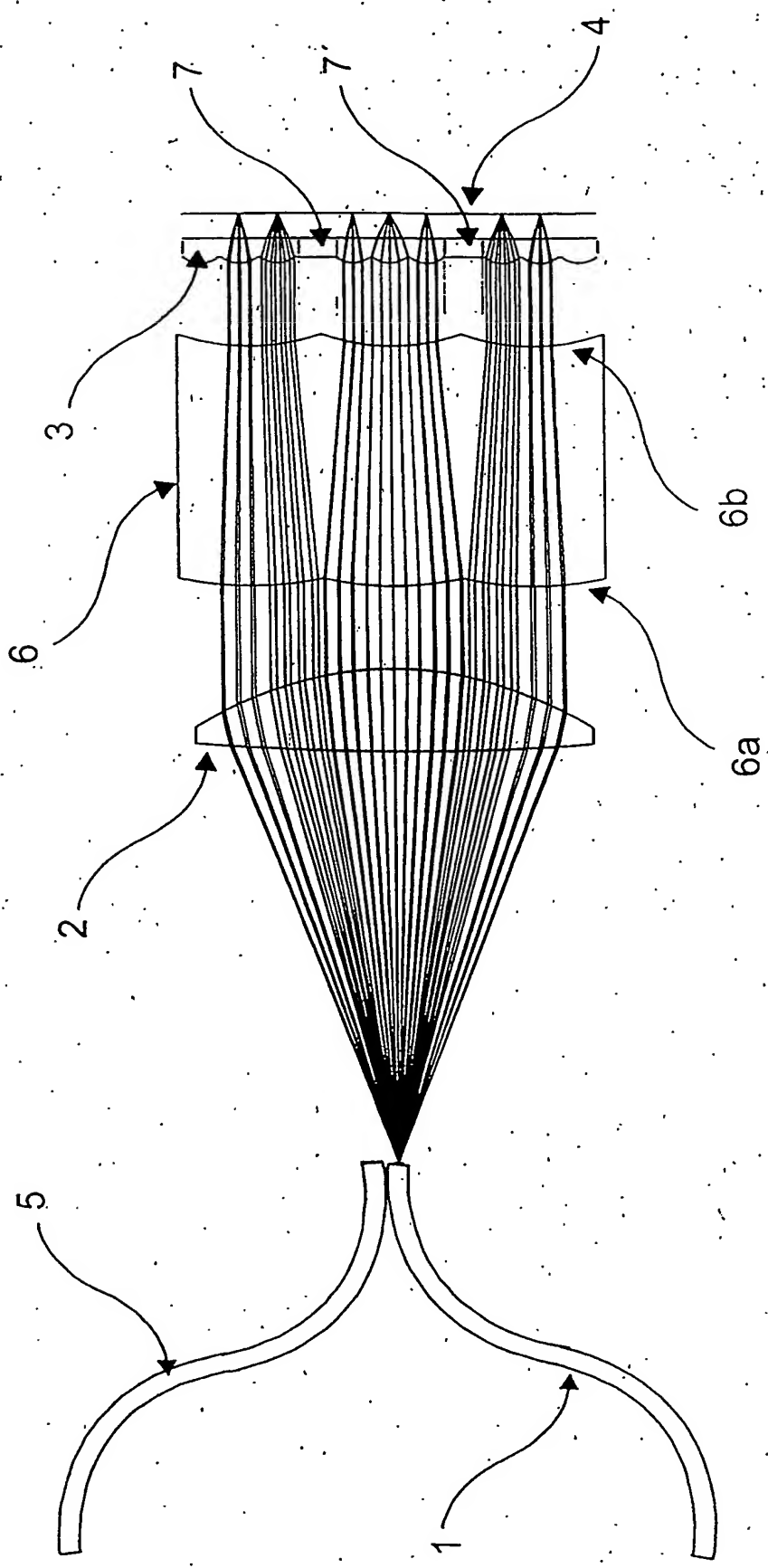


Fig. 5

35

616

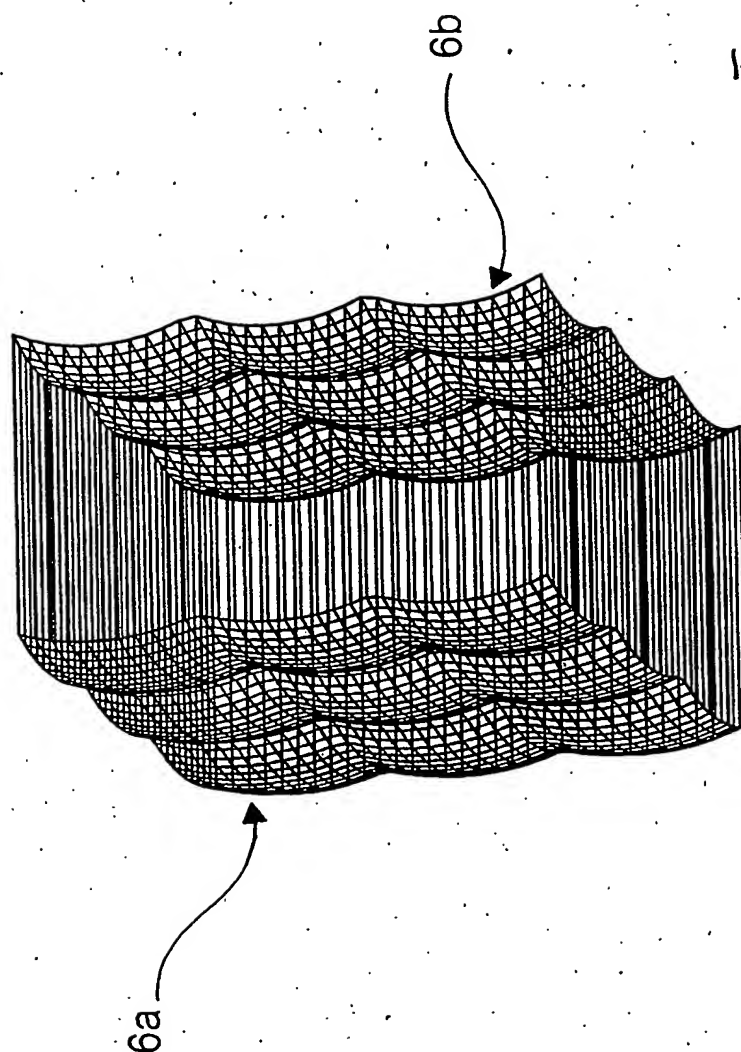


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.